

論文の内容の要旨

論文題目	汎用マルチエージェント型シミュレータUFSfOMの開発と その評価に関する研究
学 位 申 請 者	猪飼 維斗

コンピュータの進歩によって、様々な場面でシミュレーションを用いた検証や予測が行われている。シミュレーションで使用されるモデルは、対象に対する理解を目に見える形で実現したものである。シミュレーションの目的を達成するためには、モデルの理解や共有性が必要とされ、それらを容易に実現できるように、グラフィカルなモデル構築を可能とするシミュレーションシステムが提案されてきた。モデル構築は、対象への理解を表現した概念モデルを、実際に動作するプログラム言語や専用スクリプトなどで記述していく作業となる。既存のシミュレーションシステムでは、ユーザがシステムの枠組みに合わせて概念モデルを細分化、詳細化していく必要があった。そのため、ユーザは対象に対する理解とは別に、シミュレーションシステムへの十分な知識や技術が要求されていた。また、シミュレーションシステムでの性能評価は、実現できるモデルの汎用性や動作速度といった機能面からの評価が一般的で、ユーザがより使い易いシステムを選択する助けとなるユーザビリティの側面からの評価は行われていない。

そこで本論文では、シミュレーションシステムに熟達していないユーザがモデル構築する際に、ユーザの持つ知見や経験則を容易にモデル構築に使用できるようなシステムであるUFSfOM (User Friendly Simulation for Open Modeling) を開発すると共に、ユーザにとってモデル構築が容易であるかの評価としてモデル構築時の思考時間に着目し、従来のシステムと比較した。

本論文は以下に示す全 7 章から構成した。

第 1 章では、本論文の研究背景や目的、本論文の構成について記述した。また、シミュレーションの意義とユーザの持つ知見や経験則を容易にモデル構築に使用できるようなシステムの必要性について記述した。

第2章では、マルチエージェント型シミュレーションシステムの概略と本論文で提案したUFSfOMについて記述した。また、代表的な汎用シミュレーションシステムの特徴と、UFSfOMの意義について記述した。

第3章では、UFSfOMで採用したユーザに対するモデル構築支援方法である(1)ユーザの経験則をモデルに取り込むFuzzy推論、(2)ホワイトボックス化した実装レベルのモデル構造、(3)シームレスな上下分離構造の3つの機能を説明し、その機能とモデル構築への効果について記述した。

具体的には、モデル構築の最小単位にFuzzy推論を可能とするFIU (Fuzzy Inference Unit) を採用することで、言語真理値を用いた自然言語やヒューリスティックでスムーズなモデル構築を実現した。また、多段二項関係関数であるCBRF (Cascaded Binary Relation Function) を採用することで、FIUによって記述されるグラフィカルなモデル構築を、実際に動作するレベルで実行可能としている。ここで用いられるFIUは2つの入力から1つの出力を得るものであり、これを多段階に連ねる構造は、一般的な人間の判断構造を表現することに適していると考えられる。さらに、CBRFを部分モデルとして管理するPWC (Patch Work Connection) を採用することで、任意の段階で実装レベルのモデルを構築、管理することを可能としている。

第4章では、UFSfOMでの具体的なモデル構築について記述した。さらに第3章で述べたモデル構築の容易さについて、実例をもとに記述した。温度調整モデルでは、湯量制限下での競合をFIUによって容易にモデル化できることを記述した。入札行動モデルでは、CBRFによるホワイトボックスなモデル構造の利点について記述した。周囲情報を取得し2次元平面上を移動するモデルでは、PWCによるシームレスなモデル分割管理について記述した。

第5章では、シミュレーションシステムでのモデル構築容易性に対する新たな評価手法を提案し、その効果について記述した。ユーザビリティの計測手法を応用することで、モデル構築容易性を定量的に評価することを試みた。GOMS-KLM法によって動作作業量を推定し、総作業時間をもとに課題作業中の思考時間を推定した。推定した思考時間に着目して評価を行った結果、ユーザの実感に近いモデル構築容易性の評価が可能となった。

第6章では、第5章で提案した評価手法を複数のシステムを対象にした比較実験を行い、その結果について記述した。有効性と合わせた比較の結果、今回の課題に対しては、提案したUFSfOMが有効であるという結果を得た。

第7章では、得られた成果と知見を総括し記述した。本論文では、ユーザ自身の考えたモデルを、理解、共有できる状態で、シミュレーション実行可能とするモデル構築支援方法を有するシミュレーションシステムUFSfOMを実現した。モデル構築の最小単位からグラフィカルなモデル構築を可能とする一方、PWCによるシームレスな管理システムによって、モデルが大型化してもモデルの理解、共有性を妨げずに、より複雑なモデル構築を行えるようになった。

さらにユーザがより使い易いシステムを選択する助けとなるユーザビリティの側面からの評価について、定量的に比較する手法を提案した。提案手法による比較の結果、提案したUFSfOMは、効率性において他のシステムに劣らず、有効性においては他のシステムより優れているという結果を得た。最後にUFSfOMの将来への展望を考察し記述した。

論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 猪飼 維斗

審査委員主査 板倉 直明

委員 内海 彰

委員 由良 憲二

委員 本多 中二

委員 山田 哲男

本論文は、『汎用マルチエージェント型シミュレータUFSfOMの開発とその評価に関する研究』と題して、以下に示す全7章から構成されている。

第1章『序論』では、本論文の研究背景、目的と位置付け、及び全体の構成が記述されている。まず、研究背景でシミュレーション手法が求められる目的を挙げ、対象の学習や理解といった利用目的のためには、モデル構築の容易性が必要である事を述べている。そして、ホワイトボックスな構造やグラフィカルなインタフェースによって、モデル構築するユーザ自身の経験をモデル化する過程を容易にする必要性が明確に記述されている。

第2章『マルチエージェント型シミュレーションシステム』では、本論文で取り上げるマルチエージェント手法のシミュレーションについて述べた後、従来のシステムの特徴について概説している。これらの概説から、モデルの理解、共有性を高めるために必要とされる機能、要素を導き出し、提案システムの開発と評価を行う必要性が明確に記述されている。

第3章『シミュレーションシステムUFSfOMの開発』では、第2章で導き出した機能を具体的に実現する過程、機能の意味、及びその機能が与えるモデル構築容易性への寄与を述べている。FIUの機能により、言語真理値を用いたモデル構築を可能としている。CBRFの機能により、Fuzzy推論を基本としたモデル構築手法を拡張し、汎用マルチエージェントシミュレーションに対応させている。PWCの機能により、FIUによって構築されるモデルをメタ的に管理し、モデルの各部分を独立に構築する事を可能としている。メタ的に管理するPWCはシームレスに規模を定める事が可能であり、モデルの詳細部分までグラフィカルに記述できる事と合わせて、モデル構築容易性に寄与する機能であることが明確に記述されている。

第4章『UFSfOMを用いたモデル作成』では、UFSfOMが実現できるモデル例を示すとともに、採用した各機能の有効性を述べている。温度調節モデルでは、利益競合のモデル例を挙げ、FIUの機能により、ヒューリスティックでスムーズなモデル構築が実現できることを示している。意志決定モデルでは、入札行動のモデル例を挙げ、CBRFの機能により、モデルの複雑な要素を容易に変更、改良できることを示している。追跡モデルでは、二次元平面上で移動するエージェントのモデル例を挙げ、PWCの機能により、エージェントごとの挙動の管理をメタ的なモデル管理として容易に実現できることを示している。これらの検証例から、各機能の有効性が明確に記述されている。

第5章『モデル実現の容易さに対する比較手法の提案』では、モデル構築容易性を定量的に評価する手法について、モデル構築のような思考時間に大きな影響を与える作業に対しては、従来の総作業時間は有効な評価とならないため、新たな評価手法が提案されている。具体的には、抽出困難な思考時間を抽出する代わりに、GOMS法の分析を基本にKLM法を応用することで、作業中の操作時間を割り出し、総作業時間から減ずることで残余時間を得ている。被験者の主観的評価と比較した結果、総作業時間では評価できなかったモデル構築容易性について、残余時間は有効な評価手法となることが明確に記述されている。

第6章『モデル実現の容易さの比較結果』では、プログラムを使用しないSOARS、プログラムを使用するRepast、提案したUFSfOMの3者を用いた実験結果に対して、第5章で提案した残余時間、総作業時間、主観評価、成果物の有効性、自由記述アンケートによる比較を行っている。UFSfOMは、総作業時間ではRepastと同等でSOARSより短く、残余時間では両者と同等であることが記述されている。また、UFSfOMの成果物の有効性が有意に高いことが記述されている。さらに自由記述アンケートでは、視覚的なモデル構築環境の有効性が考察できる結果を示している。

第7章『結論』では、研究成果をまとめ、今後の展望について記述している。本論文ではモデル構築容易性に着目し、その実現に必要な機能を実装したUFSfOMを開発している。また、その機能が有効であることを実際のモデル例で示すとともに、モデル構築容易性を定量的に評価する手法を提案し、実験を通して評価した結果、モデル構築容易性と有効性において優れる結果を示している。今後の展望として、多様なモデルに対する有効性の検討を行い、汎用性の高いシステムへと改良することで、より多くのユーザが利用できるシステムの提供を目指している。また提案した評価手法についても、多様な課題を用いた評価によって、多面的な評価手法へと発展させる可能性を挙げている。

このように、本論文ではユーザのモデル構築に着目したシミュレーションシステムの提案によって、シミュレーションのユーザを拡げるとともに、モデル構築容易性の評価手法の提案によって、マルチエージェントシミュレーションシステムの発展に寄与できる優れた研究であると評価できる。

以上により、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認める。